

**SEMICONDUCTOR DEVICE HAVING LOW RESISTANCE ELECTRODE****Publication number:** JP11204887**Publication date:** 1999-07-30**Inventor:** JOHN LENEY; NOZAKI CHIHARU**Applicant:** TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO**Classification:**

- international: H01L21/28; H01L33/00; H01S5/00; H01S5/323;  
H01S5/343; H01L33/00; H01L21/02; H01L33/00;  
H01S5/00; H01L33/00; (IPC1-7): H01L33/00; H01S3/18;  
H01L21/28

- european:

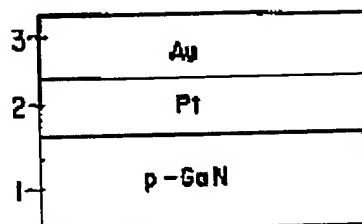
**Application number:** JP19980007668 19980119**Priority number(s):** JP19980007668 19980119

Report a data error here

**Abstract of JP11204887**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To decrease an operating voltage and a threshold current of a GaN based compound semiconductor device, by selecting suitable contact metal, and bonding the metal to a P-GaN contact layer under suitable heat treatment conditions.

**SOLUTION:** An ohmic electrode is composed of Pt contact metal 2 laminated on a P-GaN contact layer 1 and butt metal 3 composed of a thick Au film. The Pt contact metal 2 acts as a barrier to migration of the Au butt metal 3 to the P-type GaN contact layer 1. The Pt contact metal 2 does not act as a diffusion barrier to Ga, so that Ga diffuses from the surface of the P-GaN contact layer 1 to the inside of the Pt film 2. The surface of the P-GaN contact layer 1 where Ga diffuses to the outside and N is excessive acts as an excellent ohmic contact to the Pt contact metal 2, so that improvement effect of ohmic characteristic is remarkably obtained at a heat treatment temperature of 300 deg.C.




---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-204887

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

|                           |      |            |      |
|---------------------------|------|------------|------|
| (51) Int.Cl. <sup>8</sup> | 識別記号 | FI         |      |
| H01S 3/18                 |      | H01S 3/18  |      |
| H01L 21/28                | 301  | H01L 21/28 | 301Z |
| // H01L 33/00             |      | 33/00      | C    |

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全9頁)

(21) 出願番号 特願平10-7668

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月19日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 野崎 千晴

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

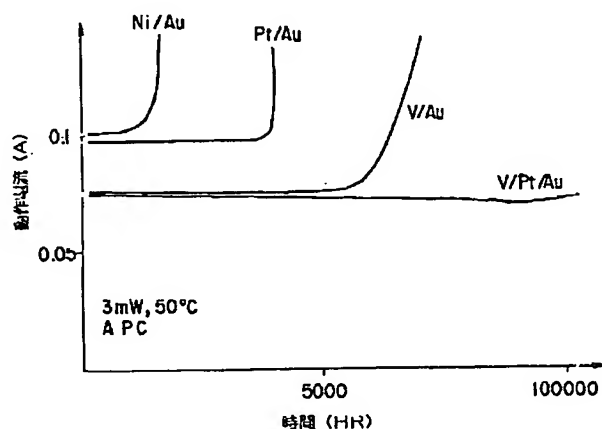
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 低抵抗電極を有する半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 p型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>Nへの良好なオーミック電極を形成し、動作電圧及びしきい値電流を低減したGa<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N系半導体装置を提供する。

【解決手段】 p型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N層のコンタクトメタルとしてV(バナジウム)を用い、これにAuのパッドメタルを積層して熱処理することによりp型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N表面からGaをコンタクトメタル内に拡散し、さらにVとAuとの間にAuの拡散バリアとしてPtを積層して熱処理することによりp型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N表面からコンタクトメタルに拡散するGaの濃度プロファイルを制御し、p型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N表面とVコンタクトメタルとの界面に高抵抗の金属間化合物を生じることなく、前記Vコンタクトメタルと接合するp型Ga<sub>0.49</sub>In<sub>0.51</sub>N層表面を、適度なN過剰(Ga不足)状態とすることにより、良好なオーミック特性を有する電極構造を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくともGaとNとを組成に含むIII-V化合物半導体層と、

前記化合物半導体層の表面に接合されたコンタクトメタルと、

このコンタクトメタルに積層されたバリアメタルと、  
このバリアメタルにさら積層されたパッドメタルとからなる少なくとも3層の金属膜からなる電極を具備し、  
前記GaとNとを組成に含む化合物半導体層の表面をN過剰としたことを特徴とする低抵抗電極を有する半導体装置。

【請求項2】 前記コンタクトメタルは、少なくともHf、Co、V、Cr、Ru、Rh、及びIrのいずれか1つを含むことを特徴とする請求項1記載の低抵抗電極を有する半導体装置。

【請求項3】 前記バリアメタルは、少なくともPt、W、Ta、Mo、Re、Os、Tc、及びZrのいずれか1つを含むことを特徴とする請求項1記載の低抵抗電極を有する半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は低抵抗電極を具備する半導体装置に係り、特にGaとN（窒素）を組成に含むIII-V化合物半導体装置の低抵抗なオーミック電極の構成に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来Ga系半導体レーザは、Mgを不純物として添加することによりp型結晶が得られるようになり、紫外または青色領域の半導体レーザとして期待され、多くの商品開発が行われてきた。しかし、ある程度のレーザ発光がみられたものの、まだ解決すべき多くの問題点が残されている。

【0003】主な問題点の1つは、動作電圧とレーザ発光のしきい値電流が異常に大きいことである。その理由はGaは禁制帯幅の大きい化合物半導体であり、これに良好なオーミック電極を形成するには、仕事関数の大きいコンタクトメタルを用いなければならないが、仕事関数の最も大きいコンタクトメタルを用いても、なおGaとコンタクトメタルとの間の仕事関数差を十分小さくすることができないことである。

【0004】このため、特にp型Ga（以下p-Gaと称す）とコンタクトメタルとの間にショットキ障壁が形成され、オーミック特性が阻害されていた。ここで仕事関数とは、物質の中から電子を外部に引き出すに要するエネルギーのことである。

【0005】したがって、通常コンタクトメタルとして比較的扱いやすいNiのような金属が用いられ、Gaに対して良好なオーミックコンタクトが得られないのは、Gaの物性上やむを得ない問題として放置されてきた。

【0006】例えば、H.Ishikawa et al.: J.Appl.Phys., 81 (1997) p1315 にみられるように、金属電極を熱処理することによりオーミック特性を改善しようとする試みがGaNにおいても数多くなされているが、良好な結果は得られていない。

【0007】n-GaNの場合は、p-GaNに比べればオーミック特性を得ることが桁違いに容易であるが、この場合オーミック特性改善の方法は、コンタクトメタルの下地となるn-GaNコンタクト層の電子濃度を極度に高くして、ショットキ障壁の厚さを薄くし、トンネル効果による伝導電子の突き抜けを利用することのみである。

【0008】しかしこのとき、例えばF.Chen et al.: Electrochemical Society Proceedings, Vol.96-11, (1996) p122にみられるように、電子濃度の高いn-GaNコンタクト層に隣接するGa層の結晶の品質がいちじるしく低下することが知られている。

【0009】また、例えばL.L.Smith et al.: J. Electronic Materials, Vol.25 (1996) p805にみられるように、コンタクトメタルを蒸着する前にGaの表面を化学処理する方法も報告されている。現在のところ弗酸（HF）系の表面処理が最良のコンタクト特性をもたらすことが知られていが、この方法を用いてもなお実用上十分に低抵抗なオーミックコンタクトは得られていない。

【0010】このように、p型及びn型のGaNに対するオーミックコンタクト特性の改善は、主としてコンタクト層のドーパント濃度を高くすること、又はGaNコンタクト層に生じるショットキ障壁高さを低減するため、InGaNのような禁制帯幅の小さい中間層をGaとコンタクトメタルとの間に設けることにより行われてきた。しかし、p型GaNのドーパント濃度を高くするには物性上の制約があり、これを克服する有効な手段はまだ見出だされていない。

【0011】GaNのオーミック特性改善の実験に際して、Ga過剰のGaN表面が数多く用いられる点が注目される。しかし、これはGa過剰のGaN表面がオーミック特性改善に有利と考えられるためではなく、GaN系の結晶成長上の制約によるものである。すなわち結晶成長温度において、Nの解離圧がGaの解離圧に比べて極めて大きいためにGaNからNが解離しやすく、種々の対策を施してもこれを防止することができないためである。

【0012】したがって、得られたGaNはN不足（Ga過剰）の状態となる。この問題は高温下で成長されるGaN基板結晶のみならず、より成長温度の低いMOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Depositionの略称)、MBE (Molecular Beam Epitaxyの略称) 等においても同様に生じる。このため、N過剰なGaN層を得ることは非常に困難と考えられていた。

【0013】この他、従来のNiをコンタクトメタルとするGa<sub>0.5</sub>Nのオーミック電極に生じる問題点を明らかにするために発明者が行った分析結果について説明する。図9に示すp-GaNのオーミック電極は、p-GaN層11と、コンタクトメタルをなすNi膜12と、Au細線のワイヤボンディングに用いるAuパッドをなす厚いAu膜13とから構成される。

【0014】このp-GaNに対するNi/Au電極は、p-GaNに積層された前記2層の金属膜を熱処理すればオーミック特性を示すが、このとき熱処理が過剰にされれば、図9のX線写真（エネルギー分散型X線分光法による）に示されるように厚いAu膜13の内部でNi膜12が14のようにボールアップし、p型Ga<sub>0.5</sub>Nの表面の50%以上が直接Au膜13で覆われる現象がみられる。次にこの現象を具体的に説明する。

【0015】図9(a)は過剰熱処理を行った後の前記電極断面からのAuの特性X線イメージである。このように過剰な熱処理を行えば、Ni膜12があった場所にAuが侵入して、直接p-GaNと接合し、図9(a)にボールアップとして矢印に示す場所がAu以外の材料からなることが示される。

【0016】図9(b)は同一の電極断面を試料として、Niの特性X線イメージを求めたものである。図9(a)において、ボールアップとして示されたAu以外の材料はNiからなることが明瞭に示される。

【0017】Auは仕事関数の大きい金属の1つであるから、p型Ga<sub>0.5</sub>Nのオーミックコンタクトとして有利と思われるが、AuはGa<sub>0.5</sub>N結晶内に容易に侵入し、かつ結晶中を移動（マイグレーション）しやすいため、このオーミック電極を備えた半導体装置の内部にリークパスを発生し、その寿命を顕著に低下させる。

【0018】また、半導体装置の表面の酸化膜等から酸素が前記Au膜13に侵入し、ボールアップしたNi、14を酸化して高抵抗の酸化物になるため半導体装置の寿命を低下させる。

【0019】このようなNi膜のボールアップと酸化物への変化とAuのp型Ga<sub>0.5</sub>Nへの侵入は、必ずしも電極の熱処理が過剰に行われた場合ばかりでなく、これが正常であってもオーミック電極が高抵抗であれば動作時のジュール熱により動作温度が上昇し、高温長時間の動作により同様な現象が発生し、装置寿命を低下させることが発明者により明らかにされた。

【0020】また、半導体とコンタクトメタルとの間で単純な拡散現象では説明できない形状変化や化合物を生成すれば、両者の界面に大きな歪みが発生し、化合物生成のために脆さを増した前記界面に微細なクラックが発生して、オーミック抵抗が急激に増加する。したがって、長寿命の半導体装置を得るためには、半導体表面とコンタクトメタルとの間に化合物を生じないことが極めて重要であることがわかった。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、従来Ga<sub>0.5</sub>N系半導体装置において、特にp-GaNのオーミックコンタクトの形成が困難であり、これを低減するのに必要なドーパント濃度の高いp-GaNコンタクト層が得られないという問題があった。

【0022】本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、コンタクトメタルの熱処理過程でp-GaNコンタクト層の表面をN過剰とし、かつ、コンタクトメタルとの間に高抵抗の介在物を生じることなく、完全なオーミック特性を有するオーミック電極を形成し、Ga<sub>0.5</sub>N系化合物半導体装置の動作電圧やしきい値電流を低減することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明の低抵抗な電極を有するGa<sub>0.5</sub>N系半導体装置は、適切なコンタクトメタルを選定し、適切な熱処理条件を定めてp-GaNコンタクト層と接合させることにより、所要のN過剰なGa<sub>0.5</sub>N表面を得ようとするものである。

【0024】すなわち、p-GaNコンタクト層と接合させるコンタクトメタルの種類を選んでp-GaN表面からGaが容易にコンタクトメタル内に拡散されるようにし、またコンタクトメタルにバリアメタルを積層することによりp-GaN表面から金属電極内に拡散するGa濃度プロファイルを制御し、界面に高抵抗の金属間化合物を生じることなくp-GaNコンタクト層の表面を適切なN過剰（Ga不足）状態とすることにより、良好なオーミック特性を有する電極構造を得ることを特徴とする。

【0025】具体的には本発明の低抵抗な電極を有する半導体装置は、少なくともGaとNとを組成に含むIII-V化合物半導体層と、この化合物半導体層の表面に接合されたコンタクトメタルと、これに積層されたバリアメタルと、さらにこれに隣接するパッドメタルとからなる少なくとも3層の金属膜が積層された電極とを具備し、かつ、前記GaとNとを組成に含む化合物半導体層の表面をN過剰としたことを特徴とする。

【0026】ここにGaとNとを組成に含むIII-V化合物半導体層とは、例えばGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N<sub>x</sub>（0 ≤ x ≤ 1）、In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Al<sub>z</sub>B<sub>1-x-y-z</sub>N<sub>y+z</sub>（0 ≤ x、y、z ≤ 1、0 ≤ x+y+z ≤ 1）等のGa<sub>0.5</sub>N系の化合物半導体層をいう。

【0027】好ましくは前記コンタクトメタルは、少なくともHf、Co、V、Cr、Ru、Rh、及びIrのいずれか1つを含むことを特徴とする。また好ましくは前記バリアメタルは、少なくともPt、W、Ta、Mo、Re、Os、Tc、及びZrのいずれか1つを含むことを特徴とする。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実

施の形態の低抵抗電極を有する半導体装置について詳細に説明する。図1に基づき、本発明の第1の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態では、PtをコンタクトメタルとするPt/Au電極の劣化機構について、発明者が行った分析結果を説明する。

【0029】分析に用いたオーミック電極は、p-GaNコンタクト層1の上に積層されたPtコンタクトメタル2と、厚いAu膜からなるパッドメタル3とから構成される。Ptコンタクトメタル2は、Auパッドメタル3のp型GaNコンタクト層1へのマイグレーションに対する障壁をなすため、図9の従来のNi/Au電極に比べて寿命が増加する。

【0030】このPt/Au電極は、300℃の熱処理によりオーミック特性が最適化される。熱処理温度が300℃を越えればオーミック特性が劣化する。図1

(b)を用いてその理由を説明する。

【0031】図1(b)に300℃以上の熱処理を行った後の電極内部における組成元素の濃度プロファイルを示す。分析方法は図9と同様エネルギー分散型X線分光法を用い、電極の深さ方向に各元素の特性X線の検出強度を測定したものである。

【0032】図1(b)に示すように、Ptコンタクトメタル2は、Gaに対する拡散障壁とはならないので、Gaがp-GaNコンタクト層1の表面からPt膜2の内部に拡散する。Gaが外部に拡散しN過剰となったp-GaNコンタクト層1の表面は、Ptコンタクトメタル2に対して良好なオーミックコンタクトとなるので、300℃の熱処理温度ではオーミック特性の改善効果が顕著に現れる。

【0033】しかし、熱処理温度が300℃以上に上昇してより多くのGa拡散を生じるようになれば、図1のGa濃度プロファイルに矢印で示すように、p-GaNコンタクト層1とPtコンタクトメタル2との界面にGa濃度が非常に高い層が形成される。すなわち、Ptコンタクトメタル2に拡散した高濃度のGaが、Ptとの間で高抵抗の金属間化合物Pt-Gaを形成し、電極部の抵抗が増加することがわかった。

【0034】また、熱処理温度が300℃と適正であっても、半導体装置の動作中のジュール熱による高温長時間の加熱により電極部にこの金属間化合物Pt-Gaが成長し、半導体装置の寿命が低下することがわかった。

【0035】これらの知見に基づき、次に示す本発明の第2、第3の実施の形態の電極構造について検討を行った。図2に基づき、本発明の第2の実施の形態について説明する。第2の実施の形態のGaN系半導体装置は、清浄なp型GaNコンタクト層1の上に厚さ約10nmのV(バナジウム)コンタクトメタル4と厚いAuからなるパッドメタル3とが積層されたオーミック電極を備えている。

【0036】図2(a)のVコンタクトメタル4は、図

1(a)のPtコンタクトメタル2に比べて、Auに対する良好な拡散障壁とならないので、Vコンタクトメタル4の内部に、図2(b)に示すようなAuの拡散を生じる。

【0037】このV/Au電極は、熱処理温度500℃において最良なオーミック特性を示すが、500℃の熱処理後、Vコンタクトメタル4にはAuが含まれ、かつ、p-GaNコンタクト層1の表面とVコンタクトメタル2との間に、図2(b)にAuピークとして示すAuのパイルアップを生じるようになる。ここでパイルアップとは、拡散により運ばれた元素が時間の経過と共に、異種材料の接合の界面に集積する現象をいう。

【0038】先にのべたように、p-GaNコンタクト層1とVコンタクトメタル4との界面にパイルアップしたAuのピークは、p-GaNコンタクト層1の内部に侵入しやすく、またGaとの反応性が高いためにp-GaNコンタクト層1の表面から過度のGaが引き出され、これをソースとしてVコンタクトメタル4にGaを拡散するので、Vコンタクトメタル4の内部に高濃度のGaからなる拡散プロファイルが得られる。

【0039】しかし、熱処理温度を500℃以上に高くしても、Vコンタクトメタル4の内部のGaの拡散プロファイルにVとGaとの間の金属間化合物の形成を示す異常が見られないので、コンタクトメタルをVとする場合には、PtのようにGaとの間に高抵抗の金属間化合物が形成されず、Gaイオンの多量の拡散を生じてもコンタクトメタルの抵抗が比較的低い値に保たれることがわかった。

【0040】また、p-GaNコンタクト層1とVコンタクトメタル4との間にパイルアップしたAuのピークは、Auが脆い性質をもたず、また抵抗値も低いので、オーミック特性を劣化させることはないことがわかった。

【0041】実際に熱処理温度を500℃以上に高くしても、V/Auからなる本第2の実施の形態のオーミック電極の抵抗値は、従来のPt/Auオーミック電極に比べて低い抵抗値を示す。したがって後に示すように、V/Au電極を備えたGaN系半導体装置の寿命は、Pt/Au電極を備えたものに比べて寿命時間を長くすることができる。しかし、この場合にもコンタクトメタルの内部に、不純物として多量のGaが経時的に侵入し、オーミック抵抗が増加するという劣化要因が残される。

【0042】次に図3に基づき、本発明の第3の実施の形態について説明する。第3の実施の形態のGaN系半導体装置のオーミック電極は、清浄なp-GaNコンタクト層1の上に厚さ約10nmのVコンタクトメタル4と、Auの拡散障壁をなす厚さ約50nmのPtバリアメタル2と、Auパッドメタル3とから構成される。

【0043】本第3の実施の形態のV/Pt/Auからなる3層構造の電極を500℃に熱処理することによ

り、低抵抗でかつ長寿命なオーミック電極が得られる。すなわち、前記熱処理後、Auパッドメタル3からVコンタクトメタル4へのAuの拡散はPtバリアメタル2により阻止されるので、熱処理後もVコンタクトメタル4は、図2(a)のVコンタクトメタル4のようにAuが多量に含まれないという特徴がある。すなわちPtバリアメタル2はAuの拡散バリアとして作用する。

【0044】このようにAuを含まないVコンタクトメタル4は、Gaイオンとの結合性が低いのでGa<sub>N</sub>の表面から多量のGaイオンを引き出すことができず、p-GaNコンタクト層1の表面が、GaのVコンタクトメタル4への制御された拡散源として作用する。したがって、熱処理条件を最適化すれば適量のGaがp-GaNコンタクト層1の表面からVコンタクトメタル4に拡散し、p-GaNコンタクト層1の表面にオーミック特性の改善に必要な最適のN過剰状態を形成することができる。

【0045】先に図1を用いて説明したように、PtはGaとの間に金属間化合物Pt-Gaを形成するのでVコンタクトメタル4に比べてGaとの結合性が強い。このため、Vコンタクトメタル4の内部に拡散したGaは、図3に示すようにVコンタクトメタル4とPtバリアメタル2との間にパイルアップし、矢印で示すGaピークを形成する。したがって、拡散の法則で定まるVコンタクトメタル4の内部のGaの濃度プロファイルは、図2とは逆の傾斜を示すようになる。

【0046】このようにしてp-GaNコンタクト層1の表面をN過剰な状態に変化し、その上にGa含有量の少ないVコンタクトメタル4を接合させることにより、界面に高抵抗な金属間化合物を形成することなくp-GaNコンタクト層に対する理想的なオーミック電極を形成し、動作電圧が低くかつ長寿命なGa<sub>N</sub>系半導体装置を得ることができる。

【0047】N過剰とされたp-GaNコンタクト層1の表面とVコンタクトメタル4との界面が良好なオーミック特性を示す理由について、図4を用いてさらに詳細に説明する。

【0048】図4(a)に示すように、熱処理前においてGaとNとの組成比が1:1のp-GaNコンタクト層の表面にVコンタクトメタルを形成すれば、Vコンタクトメタルの仕事関数が比較的小さいために、p-GaNコンタクト層への正孔の注入に対して大きなショットキ障壁 $\phi_{B1}$ が形成される。

【0049】しかし、熱処理後p-GaNコンタクト層の表面がN過剰になれば、前記p-GaNの表面にはGa空格子点による高密度の表面準位が形成され、Vコンタクトメタルのフェルミ準位がこの高密度の表面準位にピン留めされるので、ショットキ障壁の高さは、図4(b)の $\phi_{B2}$ に示されるように前記 $\phi_{B1}$ に比べて非常に小さい値となる。したがってVコンタクトメタルの仕事

関数が比較的小さいにもかかわらず、p-GaNコンタクト層に対して良好なオーミック特性を得ることができる。

【0050】ここでフェルミ準位とは、導電帯において伝導電子が占めるエネルギー準位を意味し、仕事関数の基準となるものである。また表面準位へのピン留めとは、熱平衡状態で、コンタクトメタルのフェルミエネルギーが高密度の表面準位のエネルギーに一致し、ショットキー障壁の高さがコンタクトメタルの仕事関数の値によらずに定まることをいう。

【0051】次に図5乃至図7に基づき、本発明の第4の実施の形態として、前記第2、第3の実施の形態のオーミック電極をGa<sub>N</sub>系半導体レーザ装置に応用した例について説明する。図5は多量子井戸構造(以下MQW; Multi-Quantum Wellと呼ぶ)の活性層を有するGa<sub>N</sub>系半導体ストライプ・レーザの断面図である。

【0052】図5に示すGa<sub>N</sub>系ストライプ型半導体レーザは、サファイア基板101と、n-GaNコンタクト層102と、前記コンタクト層に形成されたAl/Pt/Auからなるn型側のオーミック電極103と、n-AlGa<sub>N</sub>(以下組成を表すサフィックスは省略する)クラッド層104と、n-GaN導波層105と、InGa<sub>N</sub>からなるMQW活性層106と、p-GaN導波層107と、p-AlGa<sub>N</sub>クラッド層108と、p-GaNコンタクト層109と電流狭窄用のSiO<sub>2</sub>膜110と、p型側のV/Pt/Auオーミック電極111とから構成される。

【0053】図6に示すGa<sub>N</sub>系アイソレーテッド・ストライプ型半導体レーザは図5と異なり、内部電流狭窄層としてn-GaN層からなる電流ブロック層112をp-AlGa<sub>N</sub>クラッド層108とp-GaNコンタクト層109との間に配置したものである。他の構造は図5と同様であるため説明を省略する。

【0054】また、図7に示すGa<sub>N</sub>系半導体レーザは、電流狭窄がp-AlGa<sub>N</sub>クラッド層108の上部をメサ構造としたリッジ型のストライプ構造としたものである。絶縁膜110は前記メサストライプ等を外部汚染から防護するためのパッシベーション膜である。他の構造は図5、図6と同様であるため説明を省略する。

【0055】上記Ga<sub>N</sub>系多層構造からなる半導体レーザにおいて、本発明の第2、第3の実施の形態に係るV/Au又はV/Pt/Auオーミック電極は、p-GaNコンタクト層109の上のオーミック電極111として用いられる。図5乃至図7ではV/Pt/Au電極を用いた場合が示されている。なお従来はp側のオーミック電極としては、主として図9で説明したNi/Au電極が用いられてきた。

【0056】次に図8に基づき本発明の第5の実施の形態として、前記第1乃至第3の実施の形態で説明したオーミック電極を具備するGa<sub>N</sub>系半導体レーザの寿命試

験結果を、従来のNi/Au電極を有するものと対比して説明する。なお、第5の実施の形態において、寿命特性は主としてp側のオーミック電極の構造により定められ、図5乃至図7に示す他のレーザ構造の差は、寿命特性とはとくに関連しないことがわかった。

【0057】p型側のオーミック電極111として、Ni/Au、Pt/Au、V/Au、及びV/Pt/Au電極を用いたGa<sub>0.5</sub>N系半導体レーザの寿命試験結果を図8に示す。寿命試験に用いたGa<sub>0.5</sub>N系半導体レーザは、温度50℃において出力3mWのものであり、自動出力制御（以下APC；Automatic Power Control と呼ぶ）を行って寿命試験を実施した。

【0058】ここでAPCとは、レーザ出力の低下を動作電流の増加で補い、レーザ出力一定の条件で、動作電流の経時的な増加をレーザ出力低下の目安として用いる方法である。したがって、動作電流が急激に増加すればレーザの故障が判定される。

【0059】図8の寿命試験結果から、Ni/Au電極のレーザは1500時間で故障が発生することがわかった。しかし、Pt/Au電極のレーザは4000時間、本発明の第2の実施の形態のV/Au電極では7000時間、さらにPt拡散バリアを導入した本発明の第3の実施の形態のV/Pt/Au電極を具備するレーザでは、10000時間以上の寿命時間を有することが確認された。

【0060】なお本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。例えば前記第2、第3の実施の形態において、コンタクトメタルとしてV膜を用いたが、同様の効果は例えばHf、Co、Cr、Pt、Ru、Rh、及びIr、又はこれらの多層膜、又はこれらの金属元素を含む合金膜を用いても得ることができる。また拡散バリアメタルとしてPt膜を用いたが、同様の効果は例えばW、Ta、Mo、Re、Os、Tc、及びZr、又はこれらの多層膜、又はこれらの金属元素を含む合金膜を用いても得ることができる。

【0061】また前記多層金属からなるオーミック電極の下地となるコンタクト層がp-GaNからなる場合について説明したが、少なくともGaとNを組成に含むp型のIII-V化合物半導体層、例えばAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0≤x≤1）等の3元系化合物、In<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>Al<sub>z</sub>B<sub>1-x-y-z</sub>N（0≤x、y、z≤1、0≤x+y+z≤1）等の4元系化合物に対して同様に本発明のオーミック電極を用いることができる。

【0062】また、本発明のオーミック電極の適用対象として、Ga<sub>0.5</sub>N系多層構造半導体レーザについて説明したが、同様の効果はGa<sub>0.5</sub>N系の多層構造を用いたMESFET(Metal-Semiconductor Field Effect Transistor)等、他の能動素子、受動素子にも用いることができる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

## 【0063】

【発明の効果】上述したように本発明のV/Au又はV/Pt/Auの多層構造のオーミック電極を用いれば、従来とくに過剰電圧を生じやすいp-GaNコンタクト層に低抵抗なオーミック電極を形成することができるので、レーザ発光のしきい値電流が小さく、低電圧動作でかつ長寿命なGa<sub>0.5</sub>N系多層構造からなる半導体装置を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態のPt/Au電極の内部構造を示す図であって、(a)はその断面図。

(b)は熱処理後の構成元素のプロファイルを示す図。

【図2】本発明の第2の実施の形態のV/Au電極内部構造を示す図であって、(a)はその断面図。(b)は熱処理後の構成元素のプロファイルを示す図。

【図3】本発明の第3の実施の形態のV/Pt/Au電極内部構造を示す図であって、(a)はその断面図。

(b)は熱処理後の構成元素のプロファイルを示す図。

【図4】本発明のVコンタクトメタルの熱処理前後におけるp-GaNコンタクト層に対するショットキ障壁高さの変化を示す図であって、(a)は熱処理前のショットキ障壁を示すバンド構造図。(b)は熱処理後のショットキ障壁を示すバンド構造図。

【図5】本発明のV多層電極のGa<sub>0.5</sub>N系ストライプ・レーザへの適用例を示す図。

【図6】本発明のV多層電極のGa<sub>0.5</sub>N系アイソレーテッド・ストライプ・レーザへの適用例を示す図。

【図7】本発明のV多層電極のGa<sub>0.5</sub>N系リッジ・レーザへの適用例を示す図。

【図8】本発明のV多層電極を備えたGa<sub>0.5</sub>N系半導体レーザの寿命時間と従来の電極を具備するものの寿命時間とを対比して示す図。

【図9】従来のNi/Au電極の熱処理後における内部構造の変化を示すX線写真であって、(a)はAuイメージを示す図。(b)はNiイメージを示す図。

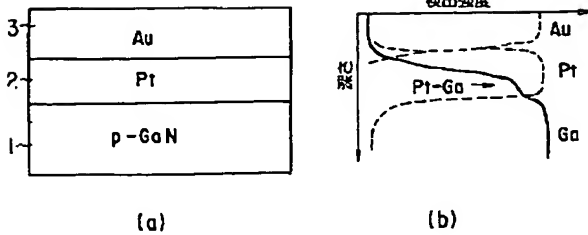
## 【符号の説明】

- 1、11…p-GaNコンタクト層
- 2…Ptコンタクトメタル
- 3、13…Auパッドメタル
- 4…Vコンタクトメタル
- 12…Ni膜
- 14…ボールアップしたNi
- 101…サファイア基板
- 102…n-GaNコンタクト層
- 103…Al/Pt/Au電極
- 104…n-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 105…n-GaN導波層
- 106…InGa<sub>0.5</sub>N MQW活性層
- 107…p-GaN導波層
- 108…p-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層

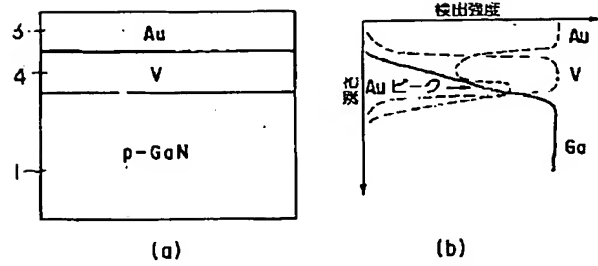
109...p-GaNコンタクト層  
110...SiO<sub>2</sub>膜

111...V/Pt/Au電極  
112...n-GaN電流ブロック層

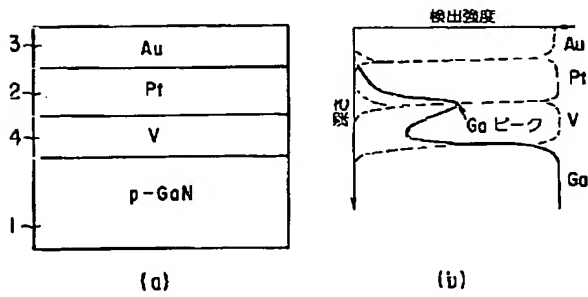
【図1】



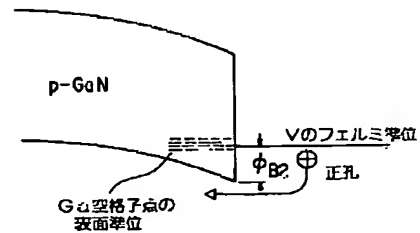
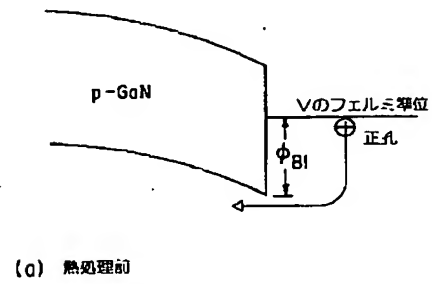
【図2】



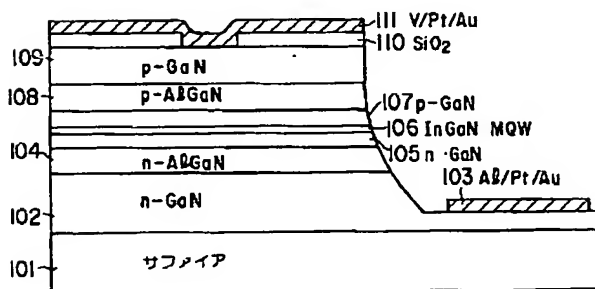
【図3】



【図4】

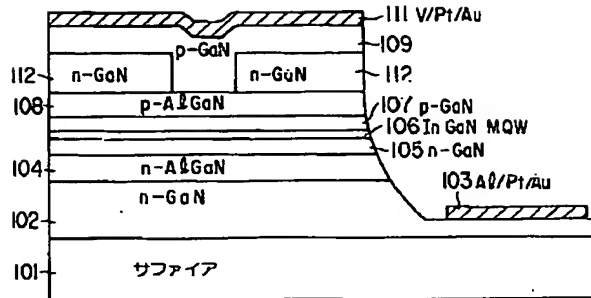


【図5】

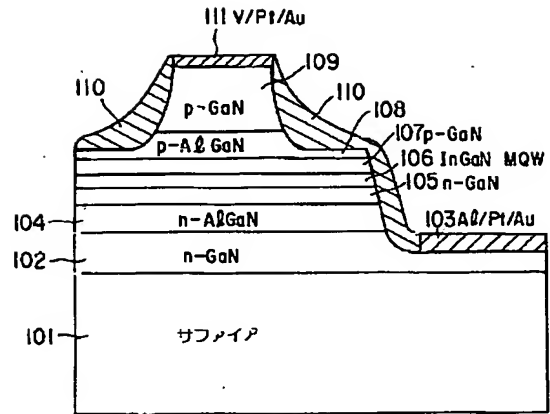




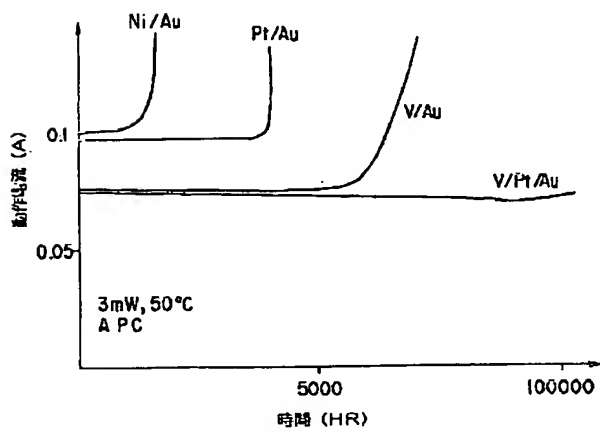
【図6】



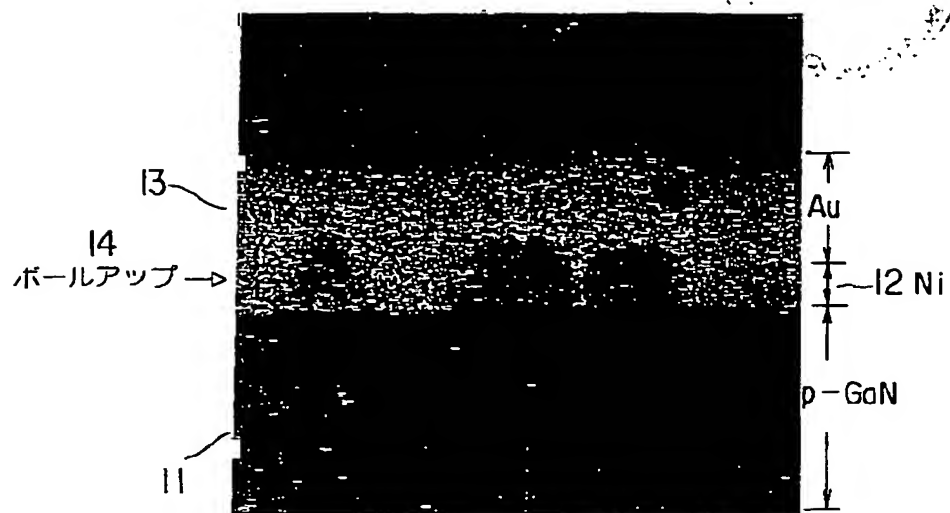
【図7】



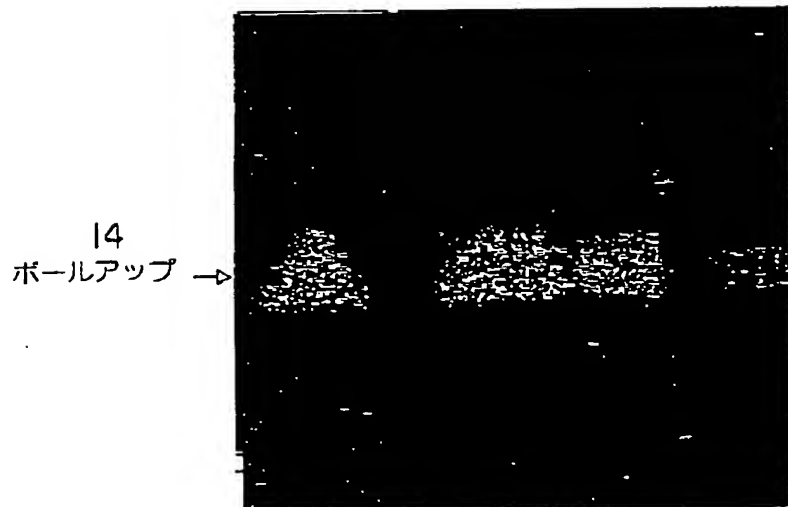
【図8】



【図9】



(a) Au イメージ



(b) Ni イメージ